جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره شانزدهم، زمستان ۱۳۹٤

صص ۸٦-۷۵

تأثیر خصوصیات بارش بر تغییرات مکانی و زمانی حرکت توده لغزشی منطقه توان در استان قزوین

جمشید جویباری ــ کارشناس ارشد آبخیزداری، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری تهران، تهران، ایران

عطااله کاویان[1] ــ دانشیار آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

جمال مصفایی ــ دکترای آبخیزداری، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان قزوین، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۸ تاریخ تصویب: ۱۳۹٤/۷/۱۱

چکیده

زمین لغزش را می‌توان حرکت توده‌ای مواد دامنه‌های شیب‌دار تحت تأثیر نیروی ثقل توده و عوامل محرکی مانند زمین‌لرزه، سیل و باران‌های سیل‌آسا تعریف نمود. این پدیده یکی از مخاطرات طبیعی است که همه‌ساله خسارات جانی و مالی فراوانی را در مناطق کوهستانی، پرباران و لرزه‌خیز به همراه دارد. تشخیص زمان و مقدار تغییر شکل توده‌های لغزشی برای درک دلایل وقوع زمین‌لغزش و هشدار خطرات احتمالی ضروری است. در این تحقیق، مقدار جابجایی زمین‌لغزش منطقه توان واقع در شمال شرق استان قزوین با عامل ویژگی‌های بارش مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا شبکه‌ای از نقاط ثابت در داخل و خارج توده لغزشی به تعداد ۲۰ نقطه، برای پایش میزان جابجایی بر روی کاربری‌های مختلف توده لغزشی ایجاد و میزان جابجایی هر نقطه در ۵ بازه زمانی با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) دوفرکانسه اندازه‌گیری گردید. نتایج پایش در مدت ۵۱۱ روز نشان داد مقدار کل جابجایی افقی نقاط دارای حرکت در ۵ بازه زمانی مورد پایش ۱۸۷٦ میلی‌متر بوده که دارای نرخ حرکت ماهانه ۱۱۰ میلی‌متر می‌باشد. همچنین مقدار کل جابجایی عمودی نقاط دارای حرکت در زمان مشابه ۸۹۸ میلی‌متر بوده که دارای نرخ حرکت ماهانه ۵۳ میلی‌متر است. سپس ویژگی-های بارش منطقه نظیر مقدار بارش، نوع بارش، مدت بارش، حداکثر شدت بارش در بازه‌های زمانی ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٦۰ دقیقه و شدت متوسط بارش برای هر یک از ۵ بازه زمانی محاسبه و استخراج گردید. رسم بردارهای جابجایی نقاط بر روی نقشه توپوگرافی منطقه مشخص نمود که جهت حرکت توده در جهت گرادیان ارتفاعی منطقه می‌باشد. نتایج نشان داد از میان ویژگی‌های مختلف بارش، تنها بین شدت بارش با میزان حرکت توده لغزشی رابطه خوبی برقرار است و مقدار جابجایی، بیشترین همبستگی را به‌ترتیب با شدت بارش متوسط (R =۰/۸۵٤) و حداکثر بارش ۳۰ دقیقه‌ای (R =۰/٦۷۵) دارد و بین سایر خصوصیات بارش (مقدار، مدت و نوع بارش) و حرکت توده لغزشی رابطه معنی‌داری حاصل نگردید.

کلیدواژه‌ها: پایش، خصوصیات بارش، زمین لغزش، جابجایی، جی‌پی‌اس دو فرکانسه.

---

۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۱۳۲۲۱۳۲٦ Email: a.kavian@sanru.ac.ir

۱. مقدمه

ناپایداری‌های دامنه‌ای و زمین‌لغزش‌ها به دلایل متعددی به وقوع می‌پیوندند که در این میان نقش شدت و مدت بارندگی برای شروع لغزش کلیدی و مهم بوده به‌طوری‌که امروزه بارندگی به‌عنوان متداول‌ترین عامل ماشه‌ای وقوع زمین‌لغزش‌ها شناخته شده است (طالبی و همکاران، ۱۳۸۸). نفرزادگان و همکاران (۱۳۸۸) نیز نقش عوامل هیدرولوژیکی (بارندگی، رطوبت خاک، جریان زیرسطحی و عمق آب زیرزمینی) را در پایداری یا ناپایداری انواع دامنه‌های طبیعی و مصنوعی بسیار اساسی دانسته و اعلام کردند تغییرات اقلیمی مانند افزایش بارندگی‌های شدید و کوتاه‌مدت نسبت به بارندگی‌های ملایم و بلندمدت عامل افزایش زمین‌لغزش‌ها و خسارات ناشی از آن‌ها می‌باشد. اوکاک اوغلو[1] و همکاران (۲۰۰۲) با تحلیل داده‌های بارش برای دوره‌های طولانی و کوتاه روزانه و ساعتی به این نتیجه رسیدند که بارش سنگین در زمین‌لغزش به‌عنوان یک عامل محرک نقش دارد. گابت[2] و همکاران (۲۰۰٤) نیز دریافتند که هر زمان طی دوره بارش‌های موسمی آستانه بارش به بیش از ۸٦۰ میلی‌متر برسد، حرکات لغزشی به وقوع خواهد پیوست. همچنین کو[3] و همکاران (۲۰۱۳) با تجزیه‌وتحلیل مکانیزم رویداد لغزش در روستای شائولین کشور تایوان اعلام داشتند که شدت بسیار بالا و رویدادهای تجمعی بارش ممکن است در مقیاس بزرگ و پیچیده سبب بلایای لغزش شود. بااین‌وجود تاکنون مطالعات کمی در خصوص نقش عامل ماشه‌ای- بارانی لغزش به دلایل کمبود داده‌های لغزش و تداوم اطلاعات ثبت شده بارش در سطح جهان صورت گرفته است (کرچباوم[4] و همکاران، ۲۰۱۲). از طرفی با توجه به اینکه داده‌های خام جابجایی زمین-لغزش برای محققان این علم به‌منظور ارزیابی مراحل تغییر شکل و قوانین حرکت لغزش بسیار مهم می‌باشد، سیستم موقعیت‌یاب جهانی و علوم کامپیوتر، می‌توانند به‌عنوان ابزاری برای مشاهده میزان جابجایی لغزش استفاده شوند (زو[5] و همکاران، ۲۰۱۲). پینگلی و انلی[6] (۲۰۱۲) در مطالعات خود، پایش زمین‌لغزش را به‌منظور اطمینان از ایمنی روستا، کاهش ریسک سرمایه‌گذاری و جلوگیری از بلایای زمین‌شناسی، لازم و ضروری دانستند. در طول دهه‌های اخیر، مشاهدات سیستم موقعیت جهانی جایگزین اندازه‌گیری‌های متداول نقشه‌برداری شده و در حال حاضر نقش مهمی در پایش تغییر شکل سطح زمین ایفا می‌کند (زو[7] و همکاران، ۲۰۱۰). به‌طور نمونه وی‌کای[8] و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی فرونشست معدن از مشاهدات ایستگاه شبکه کنترل GPS استفاده و به این نتیجه رسیدند که مشاهدات شبکه کنترل GPS از دقت کافی و بسیار کارآمد برخوردار بوده و می‌تواند داده‌های قابل اعتمادی برای تجزیه‌وتحلیل قوانین جابجایی سطح و تغییر

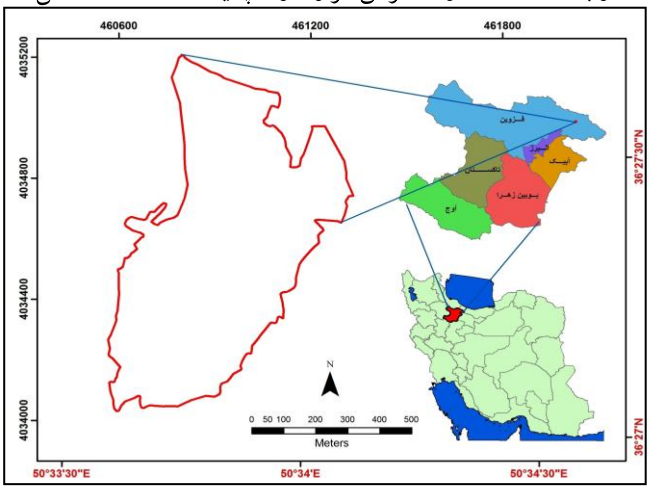
---

1 Ocakoghlu
2 Gabet
3 Kuo
4 Kirschbaum
5 Zou
6 Ping-Li & An-Li
7 Zou
8 Wei-Cai

شکل ناشی از استخراج معادن را فراهم نماید. محمدمیرزایی و همکاران (۱۳۸۶) نیز به‌منظور بررسی وضعیت و کنترل حرکات توده لغزشی سد لتیان، طراحی و ساخت نقاط شبکه رفتارسنجی این توده را در آبان ماه ۱۳۸۵ آغاز نموده و تا تاریخ ۸۶/۱/۲۶ شش مرحله مشاهدات شبکه‌های مسطحاتی و ارتفاعی توده مذکور را به پایان رساندند. نتایج نشان داد که جابجایی‌های توده با دقت قابل قبول مبین حرکات منطقه به سمت دریاچه سد با سرعت نسبتاً زیاد می‌باشد که این مقدار در قسمت‌های مختلف توده یکسان نیست؛ بنابراین تعیین رابطه شدت، مدت و نوع بارندگی بر میزان جابجایی توده لغزشی توسط پایش و تعیین جهت حرکت توده لغزشی با کمک سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) می‌تواند نقطه عطفی در مدیریت پایدار این بلای طبیعی باشد.

۲. منطقه مورد مطالعه

پهنه لغزشی منطقه توان در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان قزوین قرار دارد و از طریق راه ارتباطی قزوین به معلم‌کلایه با شهرستان قزوین ارتباط می‌یابد. به دلیل کوهستانی بودن و شیب نسبتاً زیاد منطقه، پتانسیل اولیه برای رانش زمین فراهم است. این زمین‌لغزش که در سال ۱۳۸۹ اتفاق افتاده، با وسعت حدود ۴۰ هکتار بین مختصات ″۱ ′۲۷ °۳۶ تا ″۴۰ ′۲۷ °۳۶ عرض شمالی و ″۳۳ ′۳۳ °۵۰ ″۹ ′۳۴ °۵۰ طول شرقی قرار داشته و از فاصله ۸۰ متری روستای توان عبور نموده و جاده، تیرهای برق، بخشی از باغات و اراضی کشاورزی روستا را تخریب نموده است. ارتفاع زمین‌لغزش از سطح دریای آزاد بین ۱۹۴۰ تا ۲۳۰۰ متر متغیر است. قسمت عمده بارش محدوده موردنظر در فصل زمستان به‌صورت برف بوده که ذوب تدریجی آن در فصل بهار و تابستان منبع اصلی آب رودخانه‌های منطقه را تأمین می‌کند. به دلیل دارا بودن شرایط مناسب آب و هوایی و وفور آب‌های سطحی در بالادست محدوده لغزشی باغ‌های میوه و ... در سطح گسترده‌ای احداث گردیده که به‌صورت سنتی آبیاری می‌گردد. در پیشانی این زمین‌لغزش پرتگاهی با ارتفاع بیش از ۶۰ متر به وجود آمده و تا شعاع حدود ۱۰۰ متری آن درز و ترک‌های شدیدی در جاده آسفالته و اراضی کشاورزی که در بالادست محدوده لغزش قرار دارند پدید آمده است (شکل ۱).



شکل ۱ نقشه موقعیت زمین‌لغزش روستای توان استان قزوین در ایران

۳. مواد و روش‌ها

پس از شناسایی توده لغزشی، میزان جابجایی مکانی توده لغزشی از طریق ایجاد و اندازه‌گیری موقعیت دقیق شبکه‌ای از نقاط در داخل و خارج توده لغزشی، در ۵ بازه زمانی اندازه‌گیری شد. آمار مقدار بارش و ویژگی‌های آن از قبیل مقدار بارش، حداکثر شدت لحظه‌ای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰ دقیقه‌ای، متوسط بارش، ارتفاع برف، مدت متوسط بارش و نیز کل مدت بارش نیز در هر ۵ بازه زمانی محاسبه گردید. درنهایت، با مشخص شدن میزان جابجایی قائم و افقی ۱۷ نقطه واقع در محدوده مورد پایش در ۵ بازه زمانی و ویژگی‌های بارش برای هر بازه زمانی، رابطه و میزان همبستگی بین مقدار جابجایی و خصوصیات بارش بررسی گردید.

۱.۳. شناسایی و ترسیم پهنه لغزشی بر روی گوگل ارث[1] و تهیه نقشه توپوگرافی

ابتدا محدوده لغزشی منطقه توان بر روی گوگل ارث شناسایی و اطلاعات کلی از منطقه و محدوده لغزشی حاصل شد. پس از بازدید میدانی و برداشت محدوده لغزشی با دستگاه جی‌پی‌اس[2] دستی، محدوده مورد نظر بر روی گوگل ارث منتقل و ترسیم گردید. همچنین در بازدیدهای صحرایی مشاهده شد که درز و ترک‌های شدیدی در محدوده وسیعی از اراضی همجوار زمین‌لغزش توان ایجاد شده که احتمال حرکت آن در آینده وجود دارد و به همین دلیل محدوده مذکور نیز بر روی گوگل ارث مشخص شد. همچنین به‌منظور ارائه دید کلی از منطقه و طراحی شبکه نقاط پایشی و شناخت مقدار شیب هر دامنه که یکی از عوامل اصلی وقوع لغزش‌ها است، نقشه توپوگرافی محدوده لغزشی با خطوط ارتفاعی ۱ متر با روش نقشه‌برداری زمینی در سال ۱۳۸۹ تهیه گردید.

۲.۳. مطالعات سنگ‌شناسی توده لغزشی

توده لغزشی از جنس مادستون و سیلتستون (مربوط به عهد میوسن دوره ترسیر دوران سنوزوئیک) می‌باشد و شامل تناوب‌هایی از طبقات رسی است که قرمزرنگ و بسیار دانه ریز می‌باشند. از نظر سنگ‌شناسی سکانس رسوبی به شکلی است که طبقات مذکور لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و کنگلومرای قرمزرنگ (مربوط به عهد پالئوسن دوره ترسیر دوران سنوزوئیک) را در بر می‌گیرد که مقاوم در برابر فرسایش بوده و در برخی قسمت‌ها لایه‌بندی ضخیمی دارد. مجموعه این تشکیلات به علت داشتن شکل‌پذیری بالا، چین‌خوردگی‌های شدیدی را تحمل کرده و به‌طورکلی در منطقه کمتر به‌صورت افقی دیده می‌شوند. درواقع قرارگیری مادستون و سیلتستون که قابلیت جذب آب بالایی دارند به‌صورت طبقات هم‌شیب بر روی لایه مقاوم و با نفوذپذیری کم ماسه‌سنگ و کنگلومرا، به همراه شیب بالا و آبیاری باغات اراضی بالادست، زمینه را برای لغزش در این توده لغزشی فراهم نموده است. به‌طورکلی در مناطق تحت پوشش این واحدهای سنگی و با فراهم بودن این شرایط که باعث افزایش نیروهای محرک و کاهش نیروهای مقاومتی می‌شوند امکان لغزیدن واحد سنگی مادستون قرمز بر روی ماسه‌سنگ بسیار بالا خواهد بود.

---

1 Google Earth
2 Global Positioning System (GPS)

۳.۳. تعیین میزان جابجایی توده لغزشی از طریق ایجاد شبکه رفتارسنجی

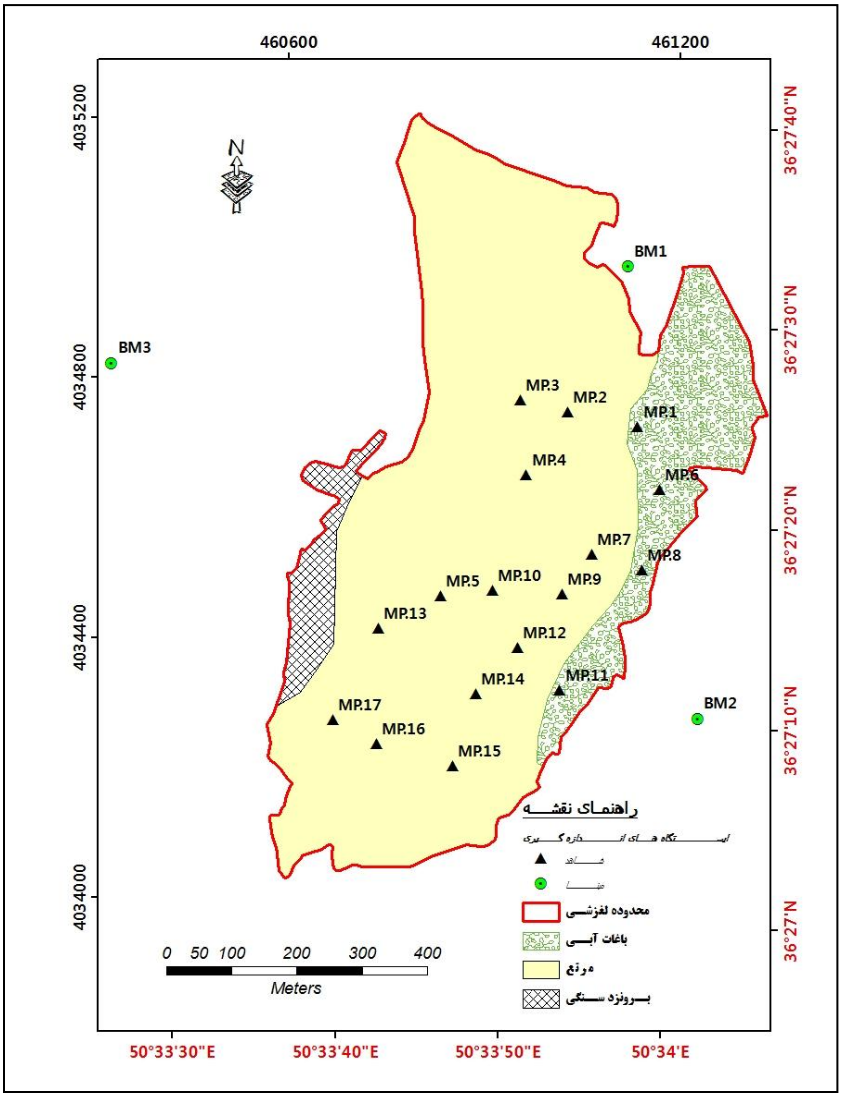
در روش استفاده از سیستم‌های تعیین موقعیت جهانی دوفرکانسه، موقعیت سکوهای تعبیه شده بر روی سطح لغزش در سه محور X، Y و Z در فواصل زمانی مشخص محاسبه شده و با تجزیه‌وتحلیل اطلاعات، مکانیسم حرکت زمین‌لغزش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (شعاعی و همکاران، ۱۳۸٤). در این تحقیق برای پایش میزان جابجایی مکانی توده لغزشی، ابتدا شبکه‌ای از نقاط ثابت در داخل و خارج توده لغزشی ایجاد، و موقعیت دقیق هر نقطه در ۵ بازه زمانی با استفاده از GPS دوفرکانسه اندازه‌گیری شد (شکل۲).



شکل ۲ ایستگاه شاهد و تعیین مختصات آن با جی‌پی‌اس دوفرکانسه به روش RTK

در خارج از منطقه لغزش، تعداد ۳ ایستگاه به‌عنوان چارچوب مرجع و شبکه نقاط مبنا که استحکام آن‌ها توسط مشاهدات روزانه ایستگاه ژئودینامیکی تهران (نقطه‌ای که مختصات دقیق آن مشخص است و هر روزه توسط سازمان نقشه‌برداری کشور کنترل می‌شود) کنترل شد، تأسیس گردید. تعداد ۱۷ ایستگاه شاهد نیز به‌منظور رفتارسنجی توده لغزشی در نقاط بحرانی سطح لغزش (با توجه به محل درزها، شکاف‌ها و توده‌های مشکوک به لغزش) و به‌منظور اندازه‌گیری میزان حرکت زمین‌لغزش تأسیس شد. نقاط شبکه به نحوی انتخاب شدند که ضمن استحکام نسبی، پوشش کاملی را نیز از منطقه تحت رانش فراهم آوردند (شکل ۳). برای تعیین میزان جابجایی نقاط شبکه، مشاهدات متوالی نقاط پایش شده با هم مقایسه گردید. تغییرات مکانی نقاط شاهد واقع در محدوده لغزشی نسبت به ۳ نقطه مستحکم در خارج توده، طی ۳ مرحله در سال ۸۹ و ۹۰ (۲ بازه زمانی) و ٤ مرحله در سال‌های ۹۲ و ۹۳ (۳ بازه زمانی) توسط جی‌پی‌اس دوفرکانسه برداشت شد.

همچنین با محاسبه بیضی خطای نسبی جابجایی میان‌اپکی رخ داده در هر نقطه، معنی‌داری جابجایی‌ها در بعد مسطحات مشخص شد به‌این‌ترتیب که اگر بردار جابجایی در داخل این بیضی قرار گرفت تحلیل به عدم جابجایی و در غیر این صورت تحلیل به جابجایی گردید.



شکل ۳ نقشه کاربری و موقعیت ایستگاه مبنا و شاهد جهت پایش منطقه لغزشی

٤.٣. تحلیل داده‌های هواشناسی ایستگاه باران‌نگار معلم‌کلایه

جهت تعیین رابطه ویژگی‌های بارش بر میزان جابجایی توده لغزشی، داده‌های موردنظر در پایه زمانی ۱۰ دقیقه از ایستگاه باران‌نگار معلم‌کلایه که در سال ۲۰۰۰ میلادی تأسیس شده و در ٦ کیلومتری منطقه مطالعاتی واقع می‌باشد اخذ گردید. همچنین خلاصه آمار ماهانه مربوط به ایستگاه هواشناسی معلم‌کلایه، که ارتفاع برف به سانتی‌متر در آن

موجود می‌باشد، جهت تعیین رابطه نوع بارش بر میزان جابجایی توده لغزشی مورد مطالعه از ایستگاه هواشناسی مذکور اخذ شد. به‌منظور بررسی رابطه ویژگی‌های بارش بر میزان جابجایی توده لغزشی، ابتدا ویژگی‌های مربوط به هر بازه زمانی از قبیل حداکثر شدت لحظه‌ای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰ دقیقه‌ای و متوسط بارش و همچنین مقدار بارش، ارتفاع برف، مدت متوسط بارش و نیز کل مدت بارش برای هر بازه زمانی محاسبه شد. همچنین جهت تعیین روابط الگوی بارش بر میزان جابجایی، ابتدا وقایع بارش کمتر از ۲ میلی‌متر به دلیل عدم تولید رواناب از داده‌ها حذف و سپس ویژگی‌های باقیمانده وقایع بارندگی محاسبه شد.

٤. نتایج و بحث

١.٤. تعیین جابجایی مسطحاتی و ارتفاعی داده‌های مشاهداتی

در این مرحله اختلاف مختصات دو دوره مشاهداتی متوالی با هم مقایسه و جابجایی مسطحاتی و ارتفاعی ۱۷ نقطه شاهد واقع در محدوده لغزشی در محیط اتوکد محاسبه گردید (جداول ۱ تا ۵).

جدول ۱ مقادیر جابجایی شبکه نقاط در بازه ۱۵۷ روزه مرحله اول و دوم مشاهدات (سال‌های ۸۹ و ۹۰)

شماره نقاط	جابجایی در محور x ها (میلی‌متر)	جابجایی در محور y ها (میلی‌متر)	جابجایی افقی (میلی‌متر)	جابجایی عمودی (میلی‌متر)	تحلیل وضعیت جابجایی افقی	تحلیل وضعیت جابجایی عمودی
۱	-۱۶	-۲۹	۳۳	-۲۵	دارای جابجایی	دارای جابجایی
۲	-۱۲۹	۵	۱۳۰	-٤۷	دارای جابجایی	دارای جابجایی
۳	۱	۱	۱	-۱٤	عدم جابجایی	دارای جابجایی
٤	٤	-۳	۵	-۱۲	عدم جابجایی	دارای جابجایی
۵	-٦	۱	۵	-۱٦	عدم جابجایی	دارای جابجایی
٦	-۱۲	-۳٤	۳٦	-۱۸	دارای جابجایی	دارای جابجایی
۷	-۳	-۹	۹	٦	دارای جابجایی	عدم جابجایی
۸	-۲۳	-۳۱	۳۹	-۲۵	دارای جابجایی	دارای جابجایی
۹	۵	۲	۵	-۱۵	عدم جابجایی	دارای جابجایی
۱۰	-۱۰	۲	۱۰	-۱۰	دارای جابجایی	عدم جابجایی
۱۱	۰	-٤	٤	-۱٤	عدم جابجایی	دارای جابجایی
۱۲	-۳	-٤	۵	-۲۰	دارای جابجایی	دارای جابجایی
۱۳	-۷	-۷	۱۰	۵	دارای جابجایی	عدم جابجایی
۱٤	۳	-۱	٤	-۱٤	عدم جابجایی	دارای جابجایی
۱۵	-۲	-۱۰	۱۱	-۸	دارای جابجایی	عدم جابجایی
۱٦	۸	-۷	۱۰	-۱۳	دارای جابجایی	عدم جابجایی
۱۷	-۲۱	-٤	۲۱	۹	دارای جابجایی	عدم جابجایی

جدول ۲ مقادیر جابجایی شبکه نقاط شاهد در بازه ۱۰۰ روزه مرحله دوم و سوم مشاهدات سال ۹۰

شماره نقاط	جابجایی در محور x ها (میلی‌متر)	جابجایی در محور y ها (میلی‌متر)	جابجایی افقی (میلی‌متر)	جابجایی عمودی (میلی‌متر)	تحلیل وضعیت جابجایی افقی	تحلیل وضعیت جابجایی عمودی
۱	-۷۳	-۱٤۲	۱٦۰	-۲۳	دارای جابجایی	دارای جابجایی
۲	-۱٦۷	۳	۱٦۷	-۱۱۲	دارای جابجایی	دارای جابجایی
۳	-٥	-٤	٦	۱۸	عدم جابجایی	عدم جابجایی
٤	-۱٤	-۱	۱٥	٥	دارای جابجایی	عدم جابجایی
٥	٤	-٤	٥	۱	عدم جابجایی	عدم جابجایی
٦	-۳٦	-۱٥۹	۱٦۳	-۳	دارای جابجایی	عدم جابجایی
۷	-۱	-۱	۲	-۲۱	عدم جابجایی	دارای جابجایی
۸	-۱۱۱	-۲۱٦	۲٤۳	-۸۲	دارای جابجایی	دارای جابجایی
۹	-٥	-۲	٥	٦	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۱۰	٥	-٤	٥	-۱	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۱۱	-۱۱	۳	۱۲	۱٤	دارای جابجایی	عدم جابجایی
۱۲	-۳	-۲	۳	٦	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۱۳	٤	۱۱	۱۱	-۲٤	عدم جابجایی	دارای جابجایی
۱٤	-٦	-۱	٦	-۱	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۱٥	-٦	٥	۷	۱	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۱٦	-٦	٤	۷	-٦	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۱۷	۷	٦	۹	-۲٤	عدم جابجایی	دارای جابجایی

جدول ۳ مقادیر جابجایی شبکه نقاط در بازه زمانی ۷۱ روزه مرحله اول و دوم مشاهدات سال ۹۲

شماره نقاط	جابجایی در محور x ها (میلی‌متر)	جابجایی در محور y ها (میلی‌متر)	جابجایی افقی (میلی‌متر)	جابجایی عمودی (میلی‌متر)	تحلیل وضعیت جابجایی افقی	تحلیل وضعیت جابجایی عمودی
۱	-۷	-۱۷	۱۹	-۱۱	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۲	-۱۷	-٥	۱۸	-۱۸	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۳	۱	-۸	۸	-۱٦	عدم جابجایی	عدم جابجایی
٤	-٥	-۱٦	۱٦	۱۰	عدم جابجایی	عدم جابجایی
٥	۷	-٤	۸	-۱۳	عدم جابجایی	عدم جابجایی
٦	-۱۰	-۲۰	۲۳	-۱٥	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۷	۱۱	۱	۱۱	-۹	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۸	٥	-٤٥	٤٦	-۲٤	دارای جابجایی	عدم جابجایی
۹	٦	٥	۸	-۱۲	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۱۰	٦	-٥	۸	-۱٤	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۱۱	-۱۸	٤	۱۹	۱۲	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۱۲	-۳	-٥	٦	-۱٥	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۱۳	-۷	-۱٤	۱٦	-۱۸	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۱٤	٥	۱	٥	-٦	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۱٥	-٥	-۷	۹	-۷	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۱٦	-۳	-۱٤	۱٤	-۱۲	عدم جابجایی	عدم جابجایی
۱۷	-٤	-۸	۹	۹	عدم جابجایی	عدم جابجایی

جدول ٤ مقادیر جابجایی شبکه نقاط در بازه زمانی ١٠٥ روزه مرحله دوم و سوم مشاهدات سال ٩٢

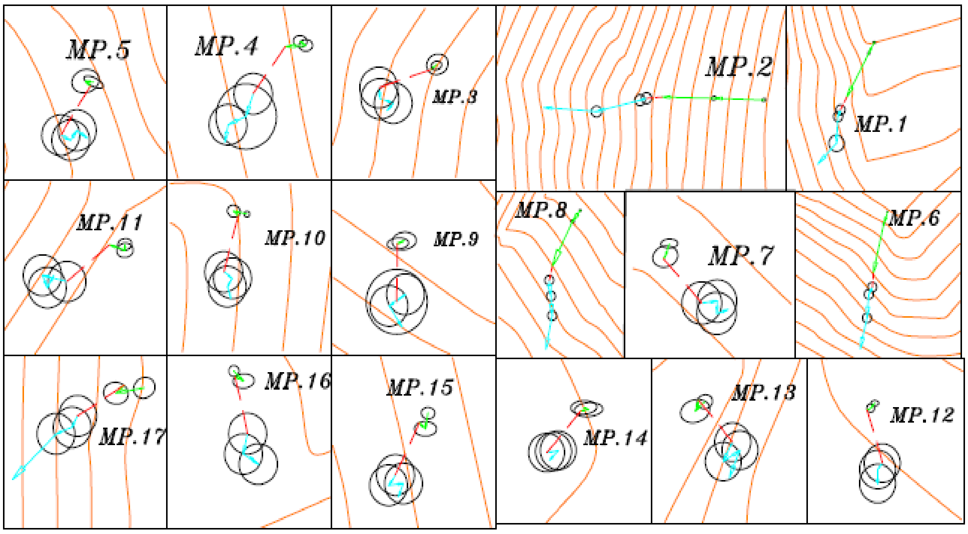
شماره نقاط	جابجایی در محور x ها (میلی‌متر)	جابجایی در محور y ها (میلی‌متر)	جابجایی افقی (میلی‌متر)	جابجایی عمودی (میلی‌متر)	تحلیل وضعیت جابجایی افقی	تحلیل وضعیت جابجایی عمودی
١	-٤	-٧٢	٧٢	-٢٦	دارای جابجایی	عدم جابجایی
٢	-١١٢	-٢٧	١١٥	-٥١	دارای جابجایی	دارای جابجایی
٣	١٠	-٣	١٠	١٤	عدم جابجایی	عدم جابجایی
٤	-١٣	-٦	١٤	-١١	عدم جابجایی	عدم جابجایی
٥	٥	٧	٨	-٥	عدم جابجایی	عدم جابجایی
٦	-٥	-٦٧	٦٧	١١	دارای جابجایی	عدم جابجایی
٧	٠	-٨	٨	١٠	عدم جابجایی	عدم جابجایی
٨	٤	-٥٤	٥٥	-٤٣	دارای جابجایی	دارای جابجایی
٩	-١٢	-٨	١٤	١٢	عدم جابجایی	عدم جابجایی
١٠	-٤	-٦	٧	-٥	عدم جابجایی	عدم جابجایی
١١	٤	-٩	٩	-٢٢	عدم جابجایی	عدم جابجایی
١٢	٠	-١٠	١٠	-١٣	عدم جابجایی	عدم جابجایی
١٣	١٣	٨	١٥	-١٥	عدم جابجایی	عدم جابجایی
١٤	٤	١	٤	٧	عدم جابجایی	عدم جابجایی
١٥	١١	١	١١	-١٦	عدم جابجایی	عدم جابجایی
١٦	١١	-٧	١٣	-١٣	عدم جابجایی	عدم جابجایی
١٧	-١٢	-٤	١٣	-٢٧	عدم جابجایی	عدم جابجایی

جدول ٥ مقادیر جابجایی شبکه نقاط در بازه زمانی٧٧ روزه مرحله سوم و چهارم مشاهدات سال ٩٢ و ٩٣

شماره نقاط	جابجایی در محور x ها (میلی‌متر)	جابجایی در محور y ها (میلی‌متر)	جابجایی افقی (میلی‌متر)	جابجایی عمودی (میلی‌متر)	تحلیل وضعیت جابجایی افقی	تحلیل وضعیت جابجایی عمودی
١	-٥٢	-٥٦	٧٦	-٢٤	دارای جابجایی	عدم جابجایی
٢	-١٣٦	١٠	١٣٧	-٨٧	دارای جابجایی	دارای جابجایی
٣	-٥	-٥	٧	-١٩	عدم جابجایی	عدم جابجایی
٤	-٣	-١٢	١٢	١٦	عدم جابجایی	عدم جابجایی
٥	٧	-٥	٩	-١٠	عدم جابجایی	عدم جابجایی
٦	-٢١	-٨٧	٩٠	-١٧	دارای جابجایی	عدم جابجایی
٧	٨	٣	٩	-١٧	عدم جابجایی	عدم جابجایی
٨	-٢٠	-٩٧	٩٩	-٤٦	دارای جابجایی	دارای جابجایی
٩	١٠	-١٤	١٧	-١٩	عدم جابجایی	عدم جابجایی
١٠	٣	-٨	٩	-١١	عدم جابجایی	عدم جابجایی
١١	٥	٩	١٠	١٢	عدم جابجایی	عدم جابجایی
١٢	-١	٢	٣	٩	عدم جابجایی	عدم جابجایی
١٣	-٨	-٢٠	٢١	-٣	عدم جابجایی	عدم جابجایی
١٤	-٧	-٧	١٠	-٢٩	عدم جابجایی	عدم جابجایی
١٥	-٣	-٩	١٠	-١٣	عدم جابجایی	عدم جابجایی
١٦	-٦	٥	٨	١٤	عدم جابجایی	عدم جابجایی
١٧	-٣٢	-٣١	٤٥	-١٦٥	دارای جابجایی	دارای جابجایی

۲.٤. رسم بردارهای جابجایی نقاط بر روی نقشه توپوگرافی

پس از تعیین مقادیر جابجایی و جهت حرکت نقاط، موقعیت نقاط رفتارسنجی بر روی نقشه توپوگرافی منطقه پیاده و مقدار جابجایی نقاط با اغراق و در یک مقیاس دیگر در جهات محاسبه شده به‌صورت بردارهای جهت‌دار به همراه بیضی خطای آن‌ها ترسیم گردید (شکل ٤).



شکل ٤ بردار جابجایی نقاط مورد پایش به همراه بیضی خطای آن بر روی قسمتی از نقشه توپوگرافی منطقه

۳.٤. رابطه ویژگی‌های بارش و میزان جابجایی توده لغزشی

در کل دوره مورد مطالعه درمجموع ٦٤ رخداد بارش به وقوع پیوسته که تعداد وقایع بارش بیش از ۲ میلی‌متر مجموعاً ٥۲ مورد می‌باشد. ویژگی‌هایی اعم از حداکثر شدت ۱۰، ۲۰، ۳۰،٦۰ دقیقه‌ای و متوسط بارش و همچنین مقدار بارش، ارتفاع برف، مدت متوسط بارش و نیز کل مدت بارش برای هر بازه زمانی محاسبه و نهایتاً ضریب همبستگی حداکثرهای شدت بارش به همراه سایر مشخصه‌های آن با متوسط جابجایی افقی و عمودی نقاط مربوط به همان بازه تعیین شد. نتایج نشان داد از بین کلیه مشخصه‌های بارش، تنها ویژگی‌های مربوط به شدت بارندگی، همبستگی بیشتری با میانگین جابجایی افقی و عمودی نقاط ٥ بازه زمانی دارند. ولی باقیمانده ویژگی‌های بارش رابطه خوبی با جابجایی‌های نقاط نشان ندادند (جدول ٦).

جدول ٦ ضریب همبستگی مشخصه‌های بارش با جابجایی افقی و عمودی نقاط مورد پایش در ٥ بازه زمانی

جابجایی	کل مدت بارش	مدت متوسط بارش	ارتفاع برف	مقدار بارش	شدت متوسط	شدت بارش در پایه‌های زمانی مختلف (میلی‌متر بر ساعت)			
						۱۰	۲۰	۳۰	٦۰
عمودی	۰/۰۰٥	۰/۰۱	۰/۰۱۷	۰/۰۰٥	۰/۰۲۸	۰/٦۱	۰/۳۹	۰/۳۷	۰/٤۲
افقی	۰/۰۹۱	۰/۱۱۷	۰/۱۰۲	۰/۰٥۹	۰/۸٥٤	۰/۳٦٤	۰/٥۹۸	۰/٦٥۷	۰/٥۲

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله رابطه خصوصیات بارش نظیر شدت، مقدار، مدت و نوع بارش بر میزان جابجایی زمین‌لغزش توان واقع در الموت استان قزوین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنالیز مشاهدات و تحلیل جابجایی نقاط در ۵ بازه زمانی نشان داد جابجایی نسبی بین بعضی از نقاط شبکه اتفاق افتاده است. با رسم بردارهای جابجایی نقاط بر روی نقشه توپوگرافی منطقه مشخص گردید جهت حرکت توده در جهت شیب عمومی منطقه می‌باشد. ضمناً گرچه جابجایی‌های عمودی و افقی بین تمامی نقاط شبکه موجود در محدوده زمین‌لغزش به‌صورت بطئی و کند وجود داشته ولی میزان جابجایی در حواشی نقاط ۱، ۲، ٦ و ۸ به‌طور عینی کاملاً نمایان می‌باشد. مقدار کل جابجایی افقی نقاط دارای حرکت در ۵ بازه زمانی مورد پایش (۵۱۱ روز) ۱۸۷٦ میلی‌متر بوده که دارای نرخ حرکت ماهانه ۱۱۰ میلی‌متر می‌باشد. همچنین مقدار کل جابجایی عمودی نقاط دارای حرکت در زمان مشابه ۸۹۸ میلی‌متر بوده که دارای نرخ حرکت ماهانه ۵۳ میلی‌متر می‌باشد. نتایج نشان داد از میان ویژگی‌های مختلف بارش، تنها بین شدت بارش و میزان حرکت توده لغزشی رابطه خوبی برقرار می‌باشد که مطالعات قبلی نیز به نتایج مشابهی در خصوص نقش ماشه‌ای بارش و وجود رابطه بین شدت بارش و وقوع زمین‌لغزش دست یافته بودند (طالبی و همکاران، ۱۳۸۸). بیشترین ضریب همبستگی به ترتیب بین شدت بارش متوسط و حداکثر بارش ۳۰ دقیقه‌ای با میزان جابجایی افقی توده لغزشی وجود دارد. بین سایر خصوصیات بارش نظیر مقدار، مدت و نوع بارش اعم از برف یا باران و میزان حرکت توده لغزشی رابطه معنی‌داری حاصل نگردید.

به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که برآیند تأثیر عوامل مختلفی نظیر توپوگرافی، خاکشناسی، زمین‌شناسی، کاربری و شدت بارش باعث ایجاد شرایط مناسب برای وقوع لغزش توده لغزشی توان الموت شده است اما در این زمین-لغزش نقش ماشه‌ای را درواقع شدت بارش ایفا نموده است.

کتابنامه

شعاعی، ضیاءالدین، امام‌جمعه، سیدرضا، شریعت‌جعفری، محسن، و جلالی، نادر؛ ۱۳۸٤. تجزیه‌وتحلیل مکانیسم حرکت و پیشنهاد اقتصادی‌ترین روش‌های کنترل لغزش با استفاده از نتایج پایش به کمک GPS در روستای آخا- البرز مرکزی، چهارمین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران. تهران: دانشگاه تربیت مدرس.

طالبی، علی، نفرزادگان، علیرضا، و ملکی‌نژاد، حسین؛ ۱۳۸۸. مروری بر مدل‌سازی تجربی و فیزیکی زمین‌لغزش‌های ناشی از بارندگی. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۰. ٤۵-٦٤.

محمدمیرزایی، اصغر، اسماعیلی، رضا، و معمارزاده، امیر؛ ۱۳۸٦. مطالعه ٦ مرحله‌ای پایش زمین لغزش سد لتیان. دومین کنفرانس مدیریت بحران. تهران: مرکز علمی مدیریت بحران و مهندسی نقشه‌برداری. دانشکده مهندسی. دانشگاه تهران.

نفرزادگان، علیرضا، طالبی، علی، و ملکی‌نژاد، حسین؛ ۱۳۸۸. بررسی سیر تکاملی مدل‌سازی هیدرولوژیکی در مطالعات زمین لغزش. پنجمین کنفرانس ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی). دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

Gabet, E. J., Burbank Douglas, W., & Putkonen Jaakko, K. (2004). Rainfall thresholds for land sliding in the Himalayas of Nepal. *Geomorphology*, 63, 131-143.

Kirschbaum, D., Adler, R., Adler, D., Peters-Lidard, C., & Huffman, G. (2012). Global distribution of extreme precipitation and high-impact landslides in 2010 relative to previous years. *Journal of Hydrometeorology 13*(5), 1536-1551.

Kuo, Y.S., Tsai, Y. J., Chen, Y. S., Shieh, C. L., Miyamoto, K., & Itoh, T. (2013). Movement of deep-seated rainfall-induced landslide at Hsiaolin Village during Typhoon Morakot. *Landslides, 10, 2;* 191-202.

Ocakoglu, F., Gokeeoglu, C., & Ercanoglu, M. (2002). Dynamics of a Complex mass movement triggered by heavy rainfall: A case study from NW Turkey. *Geomorphology*, *42(3-4)*, 329-341.

Ping-Li, X., & An-Li, Y. (2012). Design of GIS-based monitoring and early-warning system of landslide hazard in DiaoZhongba. Energy Procedia 16, 1174-1179.

Wei-cai, L., Shi-guang, Ch., Hai-sheng, Y., & Da-peng, L. (2008). Application of GPS technology to build a mine-subsidence observation station. Journal of China University of Mining and Technology, *18(3)*, 377-380.

Zou, X., Deng, Z., Ge, M., Dick, G., Jiang, W., & Liu, J. (2010). GPS data processing of networks with mixed single- and dual-frequency receivers for deformation observation. *Advances in Space Research*, *46(2)*, 130-135.

Zou, X., Qiang, X.U., Zhou, J., & Deng, M. (2012). Remote landslide observation system with differential GPS Original Research Article, *Procedia Earth and Planetary Science*, *5*, 70-75.